

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-313296  
(P2001-313296A)

(43) 公開日 平成13年11月9日 (2001.11.9)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/3205		H 0 1 L 21/316	M
21/316		21/88	M

審査請求 有 請求項の数14 OL (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2001-81508 (P2001-81508)  
(22) 出願日 平成13年3月21日 (2001.3.21)  
(31) 優先権主張番号 09/533851  
(32) 優先日 平成12年3月23日 (2000.3.23)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390009531  
インターナショナル・ビジネス・マシー  
ズ・コーポレーション  
INTERNATIONAL BUSIN  
ESS MACHINES CORPO  
RATION  
アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)  
(74) 代理人 100086243  
弁理士 坂口 博 (外2名)

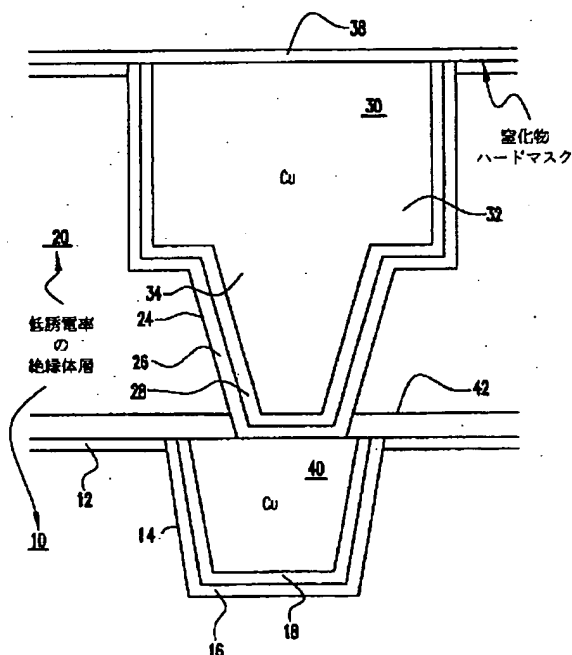
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体デバイスおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 銅構造を含む集積回路デバイス内に、容易かつ信頼性良く製造される水および/または酸素の拡散を防ぐのに非常に有効なバリア層を提供する。

【解決手段】 集積回路内で、酸素または水の存在下で酸化から銅構造40を保護する高密度材料よりなる拡散バリア層18は、ピンホールのような欠陥を生じやすいが、自己制限的に保護酸化物を形成できる材料の酸化によってその場修正される。この材料は、好適には膜26として、高密度材料に接触して設けられる。銅構造40に対する保護は、高導電率の銅を、酸素および水の拡散に耐えることが知られている低誘電率 (low k) 材料と組み合わせて使用することを可能とし、高い信号伝搬速度をもたらす。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】絶縁層と、

銅構造と、

前記絶縁層と前記銅構造との間の複合拡散バリアとを備え、

前記複合拡散バリアは、

高密度材料よりなる層と、

酸素または水の存在下で自己制限的に保護酸化物を形成できる材料よりなる膜とを有する、半導体デバイス。

【請求項2】前記銅構造の表面上に保護キャップをさらに備えた、請求項1に記載のデバイス。

【請求項3】前記保護キャップは、窒化物より形成される、請求項2に記載のデバイス。

【請求項4】前記銅構造は、ダマシン導体である、請求項1に記載のデバイス。

【請求項5】前記銅構造は、ダブルダマシン導体である、請求項1に記載のデバイス。

【請求項6】複数の絶縁体層を備え、前記複数の絶縁体層のうちの少なくとも2つは、前記銅構造および前記複合拡散バリアを含む、請求項1に記載のデバイス。

【請求項7】前記絶縁体は、3.0以下の誘電率を有する、請求項1に記載のデバイス。

【請求項8】前記保護酸化物を形成できる材料よりなる膜は、アルミニウム、シリコン、および $\text{Cu}_3\text{Ge}$ よりなる群から選択された少なくとも1つの材料を含む、請求項1に記載のデバイス。

【請求項9】銅よりなる本体と、

高密度材料よりなる拡散バリア層と、

酸素または水の存在下で自己制限的に保護酸化物を形成できる材料よりなる層とを有する複合導体を形成する工程と、

絶縁体を形成する工程とを含み、前記保護酸化物を形成できる材料よりなる層を、前記絶縁体と、前記銅よりなる本体および前記拡散バリア層との間に設ける、半導体デバイスを製造する方法。

【請求項10】前記複合導体は、前記絶縁体の凹部に形成される、請求項9に記載の方法。

【請求項11】前記銅よりなる本体の表面上に保護キャップを形成する工程をさらに含む、請求項9に記載の方法。

【請求項12】前記絶縁体および前記複合導体上に、さらなる絶縁体を形成する工程と、

前記さらなる絶縁体内に、さらなる複合導体を形成する工程を含む、請求項9に記載の方法。

【請求項13】前記保護酸化物を形成できる材料は、アルミニウム、シリコン、 $\text{Cu}_3\text{Ge}$ よりなる群から選択された少なくとも1つの材料を含む、請求項9に記載の方法。

【請求項14】半導体デバイス内の拡散バリアのその場修正方法であって、

酸素または水の存在で自己制限的に保護酸化物を形成できる材料を酸化する工程を含み、前記材料が、前記拡散バリアに接触している、方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般に、集積回路デバイスに関し、特に、銅相互接続部および低誘電率（low k）絶縁体の両方を用いる集積回路デバイスに関する。

【0002】

【従来の技術】性能、機能、および製造費用節約において認識されている利点は、集積回路デバイスの集積密度を増大するための強いインセンティブを与えている。増大された製造費用節約および機能は、所定のグループの材料処理プロセス（例えば、リソグラフィ、エッチング、付着、イオン注入など）の間に形成することができ、増大された多数のデバイスから得られるが、増大された性能は、スイッチング素子が物理的により接近して配置されているときの減少された信号伝搬時間（および、一般には、ノイズ・イミュニティ（immunity））から得られる。より短い相互接続部の長さは、一般に、接続部の抵抗およびキャパシタンスの両方を減少させ、信号伝搬のより速い立上り時間および立下り時間を生じるが、減少されたキャパシタンスは、一般に、導体間の容量結合ノイズを減少させる。

【0003】しかしながら、増大された信号伝搬速度は、導体間で容量結合されるノイズの大きさを増大させるが、相互接続部の増大された接近は、相互接続部間のキャパシタンスを増大させる傾向にある。従って、現在の最新技術では、所定の寸法および間隔を有する導体間のキャパシタンスを最小にするために、低誘電率（例えば、 $k=3.0$ 以下）を示す誘電体が、研究されている。同時に、銅は、相互接続部のそれほど高導電性でない材料と比較して、顕著な性能の利点を与え、銀および金のような他の数種の材料と比較して、幾つかの高融点金属によって与えられるようなプロセスの複雑さを導入することなく、費用節約に顕著な利点を与えることが分かっている。銅はまた、他の数種の金属、特にアルミニウムよりも金属マイグレーションを受けにくい。

【0004】しかしながら、銅は、半導体構造に囲まれているときでも、酸素または水の存在で酸化を受ける。というのは、半導体構造内では、酸素自体が、しばしば使用可能であり、また、現在の誘電体材料が、しばしば、酸素を含むか、あるいは、主に、酸素より形成されるからである。あるいはまた、酸素は、一般に、このような酸化物の中で強く結合され、水分子の拡散は、一般に、非常に制限されるが、酸素または水は、酸化物を通して拡散し得るからである。従って、従来の構造の集積回路における銅の酸化による障害の可能性は、従来のチップの予定寿命中は、かなり低い。にもかかわらず、現

在可能かつ予測可能な集積密度では、このような酸化は、実質的には極めて重大となることが予測される。というのは、銅相互接続部の幅および厚さが、減少されたサイズとなるからである。

【0005】従って、一般に、接着層（例えば、タンタルまたは窒化タンタル）、銅層、および、例えば窒化シリコンよりなるシーリング／保護層を含む層状構造内に、低抵抗の細い相互接続部を形成することが知られている。しかし、このようなシーリング／保護層は、金により形成されると費用がかかり、多層導体を形成する際にはプロセスの複雑さが著しくなる。他の高密度バリア材料膜が、知られており、用いられるが、このような膜に欠陥がないことを保証することは、困難である。というのは、タンタルおよび窒化タンタルのような十分に高密度の材料は、酸素または水を拡散させるのに十分なピンホール欠陥を形成する傾向を有するからである。

【0006】さらに、拡散バリアを含むことは、有限のスペースを使用し、横寸法が最小のフィーチャ・サイズで形成されると、集積密度に制限を課すことが分かる。この点については、ウエハからダイスされたチップであって、縁部のシールが与えられないと層間の全ての界面が露出されるチップの縁部から、拡散が最も容易に生じ、このことは、実質的な製造の困難性を含むことがさらに分かる。バリアが、自己整合で形成され、より小さい寸法を得るとしても、バリアは、銅導体のような他の構造の微小寸法（critical dimension）を減少するのに役立つ。

【0007】また、銅の酸化が、少しでも生じると、抵抗および信号伝搬時間が、増大することが分かる。この影響は、集積回路を含む装置が、使用開始された後の長期間にわたって生じる。この装置が、主として、銅相互接続部を含む非常に高性能の集積回路構造であるとすれば、微小寸法（criticality）に達する可能性は、かなり大きく、伝搬時間の増大による障害またはエラーは、極めて予測することができない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、水および／または酸素の拡散を防止するのに非常に有効なバリア層を提供することにある。このバリア層は、高集積密度に関係するコストおよびプロセスの複雑さを減少させながら、信頼性良く形成することができ、また、特に微細構造における酸化ダメージから銅を保護することができる。

【0009】本発明の他の目的は、銅構造を含む集積回路デバイス内に、容易かつ信頼性良く製造された拡散バリアを提供することにある。この拡散バリアは、銅構造の酸化と、性能の低下または劣化とを有効に防止する。

【0010】本発明のまた他の目的は、銅構造の酸化を防止する方法および構造を提供することにある。この銅構造は、得難い電気的特性を与えることができるが、集

積回路内の酸素および／または水の拡散を促進する傾向にある他の材料と組み合わせて、集積回路内で用いられる。

【0011】本発明のまた他の目的は、半導体デバイス内の高密度拡散バリア層の強固性および完全性を改善する方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明のこれらのおよび他の目的を実現するために、絶縁層と、銅構造と、絶縁層と銅構造との間の複合拡散バリアとを備え、前記銅構造は、高密度材料（dense material）よりなる層と、酸素または水の存在で自己制限（self-limiting）的に保護酸化物を形成できる材料よりなる膜とを有する、半導体デバイスが与えられる。

【0013】本発明の他の形態によれば、銅よりなる本体と、高密度材料よりなる拡散バリア層と、酸素または水の存在で自己制限的に保護酸化物を形成できる材料よりなる層とを有する複合導体を形成する工程と、絶縁体を形成するさらなる工程とを含み、前記保護酸化物を形成できる材料よりなる層を、絶縁体と、前記銅よりなる本体および拡散バリアとの間に設ける、半導体デバイスを製造する方法が与えられる。

【0014】本発明のさらなる形態によれば、酸素または水の存在で自己制限的に保護酸化物を形成できる材料を酸化する工程を含み、材料が、拡散バリアに接触している、半導体デバイス内の拡散バリアのその場（in-situ）修正方法が与えられる。

【0015】

【発明の実施の形態】次に、図1に、本発明の典型的な実施例を含む集積回路の一部の断面図を示す。本発明の好適な応用例は、ラインおよびバイアを含む銅導体および銅相互接続部の酸化に対する保護を与えるものである。接続バイアを有する異なる層内の導体のみが示されており、当業者によれば、本発明の理解および実施に十分であることが分かるであろう。また、図示した導体は、好適なダマシン・プロセスによって形成されるが、複数の材料よりなる層を逆の順序で設けることができることを理解すべきである。すなわち、トレンチおよび／またはバイア内に形成されたダマシン導体とすることもでき、層の表面上に形成されパッシベーション層でおおわれた導体とすることもできる。

【0016】さらに、本発明者は、有機ポリマーおよび多孔性絶縁体のような低誘電率（“low k”， $k=3.0$ 以下）材料は、しばしば、酸化シリコン、窒化シリコン、窒化シリコンゲルマニウムなどのような誘電体に比較して、酸素および／または水の拡散に対して劣るバリアであることを発見している。銅相互接続部を有する、ウエハからダイスされたチップは、特に、低誘電率材料が用いられると、銅酸化を極めて受けやすい。この酸化に対する受容性は、タンタルおよび／または窒化タ

ンタルのような高密度金属バリア（このようなバリアは、欠陥がなく、酸素および／または水の拡散を許容する“ピンホール”を持たない）が設けられても、存在する。高密度バリアに適切な材料は、酸化物または他の化合物を形成するが、このような酸化物または他の化合物が、ピンホールまたは生じ得る他の欠陥を有効に埋めるような特性を有するか否かは明らかでない。

【0017】従って、本発明は、銅構造間の付加的なバリア層（あるいは、好適には、銅構造を覆う高密度バリア層）と、低誘電率材料のような絶縁体とを与える。この付加的なバリア層は、その場酸化バリアを与える自己制限的保護酸化物を成長させる既知の材料よりなる。好適には（例えば、ダマシン導体にとって）、この付加的なバリア層は、以下に詳細に説明するように、銅構造が付着されている高密度バリア層の下層として形成される。従って、自己制限的保護酸化物は、酸素または水が銅構造の付近で拡散できる所ではどこでも形成され、下層の残りの部分および囲っている銅構造を保護するだけでなく、通常設けられる高密度材料のバリア層内で生じ得るピンホール欠陥を埋めるのに役立つ。

【0018】次に、再度、図を参照して、本発明を用いる構造の一例およびその製造方法について、以下に説明する。図示した構造は、2つの絶縁体層10および20を備え、各絶縁体層は、層内に形成されたダマシン導体を有する。また、絶縁体の凹部に金属を付着し、絶縁体の表面まで金属を平坦化することによって、高品質かつ構造的に強固な導体を形成するダマシン・プロセスは、一般に、周知である。図はまた、本発明によるバリア膜を含む。従って、図の本発明に関する部分で、従来技術であると認められる部分はない。

【0019】層20内の導体構造30は、導体部分32およびバイア部分34を有する、いわゆるダブルダマシン構造である。図示したように、層10内のダマシン導体40は、通常のダマシン導体構造に相当するが、図の前および／または後にバイアを有するダブルダマシン構造の一部として示すことができる。ダブルダマシン導体は、当業者に知られている多くの方法で形成される。この方法は、単一の絶縁体層、および連続して設けられパターニングされた複数の絶縁体層上における一連のマスキング・プロセスおよびエッチング・プロセスと、形成された凹部を充填するための1つ以上の金属の付着工程および平坦化工程とを含む。好適な特定のプロセスは、一般に、用いられる特定の材料（特に、絶縁体の特性）と、特定の材料に対して信頼性良く行うことができるプロセスとに依存する。

【0020】技術上知られ実施される一般的なダマシンまたはダブルダマシン・プロセスにおいて用いられる特定の方法は、本発明の成功的な実施にとっては重要ではない。同様に、本発明は、絶縁体の凹部内に形成される構造に限定されず、絶縁体によって覆われた表面構造に

も応用可能である。後者の場合には、このような表面構造についての本発明の成功的な実施にとっては、以下に説明するシーケンスの逆（当業者に明らかのように、パターニング・プロセスの変更を含む）が、適切である。従って、以下の説明は、本発明の好適な実施例および応用に関係するが、一般に、当業者による、本発明の成功的な実施を可能にするであろう。

【0021】本発明に基づいて、低誘電率材料とすることのできる絶縁体層10から開始して、窒化物または他のハードかつ選択エッチング可能な絶縁体層12（エッチおよび／または研磨停止層として使用する）が、表面上に付着され、パターニングされ、ハードマスクを形成する。ハードマスク12を用いて、絶縁体材料に適切なエッチング・プロセスおよびエッチャントによって、絶縁体層10内に、凹部14が形成される。次に、本発明によって、金属（例えば、アルミニウム）、または自己制限的保護酸化物を形成するのに既知の他の材料（例えば、シリコン、ゲルマニウム、 $\text{Cu}_3\text{Ge}$ ）の膜を、好適には、スパッタリング、蒸着、または化学気相成長（CVD）によって、凹部の内側に設け、層16を形成する。その厚さは、一般に、凹部14の内側の完全なカバレッジを与えるのに十分である限り、約100Å以下の非常に薄いバリア膜で十分であろう。

【0022】次に、高密度材料（例えば、タンタルおよび／または窒化タンタル）よりなる拡散バリア層18が、既知の方法で設けられ、層18を形成する。高密度材料よりなるこのバリア層18を含むことは、酸素および／または水の拡散に対して保護することが知られているが、拡散を生じさせるピンホールのような欠陥が生じることを思い出すべきである。

【0023】次に、凹部の残りの部分が、銅で充填され、高導電率接続部または他の構造40を形成し、窒化物キャップ42が、設けられる。次に、窒化物キャップ42が、電氣的接続部（例えば、バイア）の所望の位置で、銅までパターニングされる。次に、上述した材料に必要とされるならば、次の絶縁体層20が、設けられ、おそらく一連のパターニングされた層としてパターニングされ、上述したプロセスを繰り返し、凹部24を内張りする、自己制限的に保護酸化物を形成できる材料よりなるバリア膜26と、高密度材料よりなる拡散バリア層28とを形成し、銅バイア34、導体32、続いて窒化物キャップ38を形成する。このプロセスは、必要なだけ繰り返され、追加の絶縁体層内に追加の導体を形成することができる。

【0024】図示した完成構造では、銅構造が形成される凹部の内側が、高密度材料よりなる拡散バリアと、保護酸化物を形成する材料よりなるバリア膜とで内張りされていることが分かる。銅を酸化する酸素または水が、絶縁体層10、20を介して拡散され、バリア膜16、26に達すると、自己制限的に保護酸化物が形成され

る。保護酸化物は、膜の残りの部分を保護するだけでなく、存在する高密度材料のバリア層18、28内の欠陥を埋める働きをする。このようにして、この自己制限的酸化は、幾つかのプロセスによりその場で、高密度材料内の欠陥を保護し、有効に修正し、その効果または効果の組合せを生じるが、銅の酸化は、自己制限的ではない。

【0025】銅構造を覆う窒化物キャップは、一般に、十分な拡散バリアであり、低誘電率絶縁体層の厚さに対して、このような小さい面積および容積に限定すると、正味誘電率は、それほど増大しない。いずれにしても、導体32と導体40との間のキャパシタンスは、導体間のオーム接続の近傍では、信号伝搬時間のノイズの結合にとって実質的には重要ではない。

【0026】これに対して、凹部内の全ての材料は、実質的には導電性であり、他の導電構造に対するキャパシタンスは、低誘電率材料のみを使用することによって最小となる。バリア膜26および拡散バリア層28は、バイアとバイアを経て作製された電気的接続部との底部にわたって延在することに注意されたい。窒化物キャップ42に対するバリア膜26の形成は、銅構造40へのバイア接続によるバリア膜26内の酸化を防ぐのに十分なバリアとなる。バリア膜あるいはバリア膜内で生じる保護酸化は、正味誘電率およびキャパシタンスを著しく増大させるには、不十分な相対容積または面積でしかない。

【0027】前述したことから、本発明は、高密度材料よりなる拡散バリアの品質および強固性を改善する方法と、その中に形成され易い欠陥の修正とを与えることが分かる。従って、本発明は、酸素および/または水を拡散しやすい低誘電率材料が、絶縁体として用いられるときでも、銅構造の酸化による劣化を実質的に防ぐ。チップの縁部をシーリングするような他の高価かつあまり有効でない手段は、本発明によって、不必要かつ旧式なものになる。本発明は、集積回路内の銅構造に、安価で信頼性良く応用することができ、信号伝搬速度およびノイズ・イミュニティの最大化を保持し可能にするのに役立つ。

【0028】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

(1) 絶縁層と、銅構造と、前記絶縁層と前記銅構造との間の複合拡散バリアとを備え、前記複合拡散バリアは、高密度材料よりなる層と、酸素または水の存在下で自己制限的に保護酸化物を形成できる材料よりなる膜とを有する、半導体デバイス。

(2) 前記銅構造の表面上に保護キャップをさらに備えた、上記(1)に記載のデバイス。

(3) 前記保護キャップは、窒化物より形成される、上記(2)に記載のデバイス。

(4) 前記銅構造は、ダマシン導体である、上記(1)

に記載のデバイス。

(5) 前記銅構造は、ダブルダマシン導体である、上記(1)に記載のデバイス。

(6) 複数の絶縁体層を備え、前記複数の絶縁体層のうちの少なくとも2つは、前記銅構造および前記複合拡散バリアを含む、上記(1)に記載のデバイス。

(7) 前記絶縁体は、3.0以下の誘電率を有する、上記(1)に記載のデバイス。

(8) 前記保護酸化物を形成できる材料よりなる膜は、アルミニウム、シリコン、および $\text{Cu}_3\text{Ge}$ よりなる群から選択された少なくとも1つの材料を含む、上記(1)に記載のデバイス。

(9) 銅よりなる本体と、高密度材料よりなる拡散バリア層と、酸素または水の存在で自己制限的に保護酸化物を形成できる材料よりなる層とを有する複合導体を形成する工程と、絶縁体を形成する工程とを含み、前記保護酸化物を形成できる材料よりなる層を、前記絶縁体と、前記銅よりなる本体および前記拡散バリア層との間に設ける、半導体デバイスを製造する方法。

(10) 前記複合導体は、前記絶縁体の凹部内に形成される、上記(9)に記載の方法。

(11) 前記銅よりなる本体の表面上に保護キャップを形成する工程をさらに含む、上記(9)に記載の方法。

(12) 前記絶縁体および前記複合導体上に、さらなる絶縁体を形成する工程と、前記さらなる絶縁体内に、さらなる複合導体を形成する工程を含む、上記(9)に記載の方法。

(13) 前記保護酸化物を形成できる材料は、アルミニウム、シリコン、 $\text{Cu}_3\text{Ge}$ よりなる群から選択された少なくとも1つの材料を含む、上記(9)に記載の方法。

(14) 半導体デバイス内の拡散バリアのその場修正方法であって、酸素または水の存在で自己制限的に保護酸化物を形成できる材料を酸化する工程を含み、前記材料が、前記拡散バリアに接触している、方法。

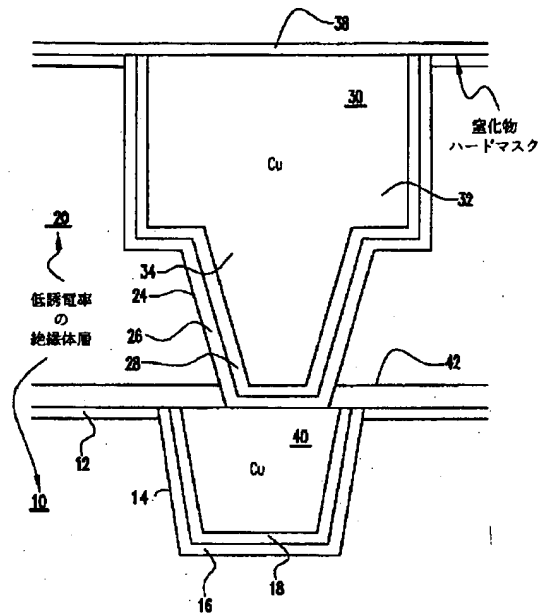
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の典型的な好適な実施例による層状半導体構造の導体接続部における断面図である。

【符号の説明】

- 10 絶縁体層
- 12 ハードマスク
- 14, 24 凹部
- 16, 26 バリア膜
- 18, 28 バリア層
- 20 絶縁体層
- 30 導体構造
- 32 導体
- 34 銅バイア
- 38, 42 窒化物キャップ
- 40 ダマシン導体(銅構造)

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 ヴィンセント・ジェイ・マクゲイヘイ  
アメリカ合衆国 12601 ニューヨーク州  
ボウキープシー イエイツ ブールバー  
ド 5

(72)発明者 アーネスト・エヌ・レヴィン  
アメリカ合衆国 12603 ニューヨーク州  
ボウキープシー ハイ エイカーズ ド  
ライブ 30